

1 Introducción

Víctor Magaña¹ y Cristina Morales¹

El clima y la sociedad

Las condiciones extremas en el clima siempre han preocupado a la gente, principalmente a quienes trabajan en el campo. Periodos de secas han resultado en cosechas pobres y, en muchas ocasiones, en hambruna y migraciones masivas. Con el rápido incremento de la población en el siglo XX, se requiere que las actividades agrícolas sean cada vez más eficientes, aun bajo los efectos negativos de las variaciones en el clima.



La escasez de lluvias provoca sequías agrícolas que pueden convertirse en problemas sociales como hambruna o migraciones masivas.

No sólo la agricultura siente los impactos de los cambios que año con año experimenta el clima. Otras actividades, como la ganadería, la pesca, la generación de energía eléctrica y las comunicaciones, también se ven afectadas por las variaciones del sistema climático. Incluso la salud humana puede reflejar los efectos negativos de condiciones meteorológicas extremas. Por ello, resulta fundamental tener un mejor entendimiento de los mecanismos que controlan el clima (Fig. 1.1), para así planear y tomar decisiones en materia de producción agrícola y pesquera, o en materia de protección civil.

Por otro lado, cada vez es más clara la estrecha relación existente entre sociedad y medio ambiente, y la necesidad de un manejo de los recursos naturales en forma racional. Las políticas de desarrollo sostenible deben considerar las variaciones en el clima como factor de peso en el desgaste de los ecosistemas, transformados intensamente por la actividad humana. Los cambios que el hombre impone al medio ambiente, como aumento de los gases invernadero, o cambios en el uso de suelo, pueden modificar ciertos procesos meteorológicos relacionados con la lluvia y la temperatura. Uno de los retos en el estudio del llamado Cambio Climático es el de distinguir cuáles de las alteraciones que hoy en día experimenta el clima son de origen natural, y cuáles son de origen antropogénico [IPCC, 1996].

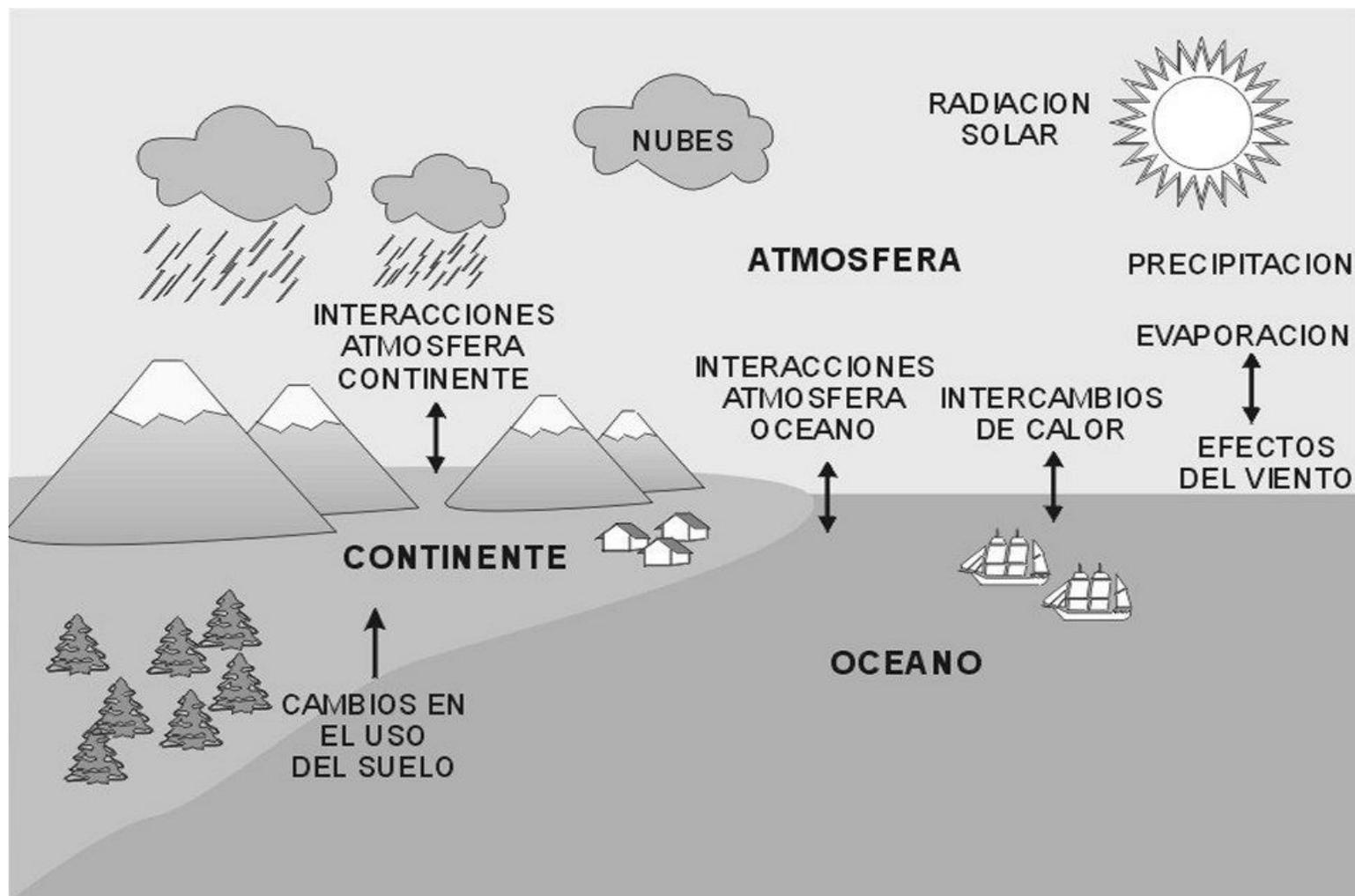


Fig. 1.1 Elementos del sistema climático

En México, los procesos productivos agropecuarios y forestales, así como los de desarrollo urbano, tienen una estrecha relación con los cambios del clima. La transformación de los paisajes y la contaminación han llegado a modificar el ciclo hidrológico, al cambiar la captación y retención de humedad en la superficie. Un caso dramático es el de la Ciudad de México, donde la precipitación ha aumentado casi 200 mm y la temperatura en aproximadamente 3°C, desde principios de siglo (Fig 1.2).

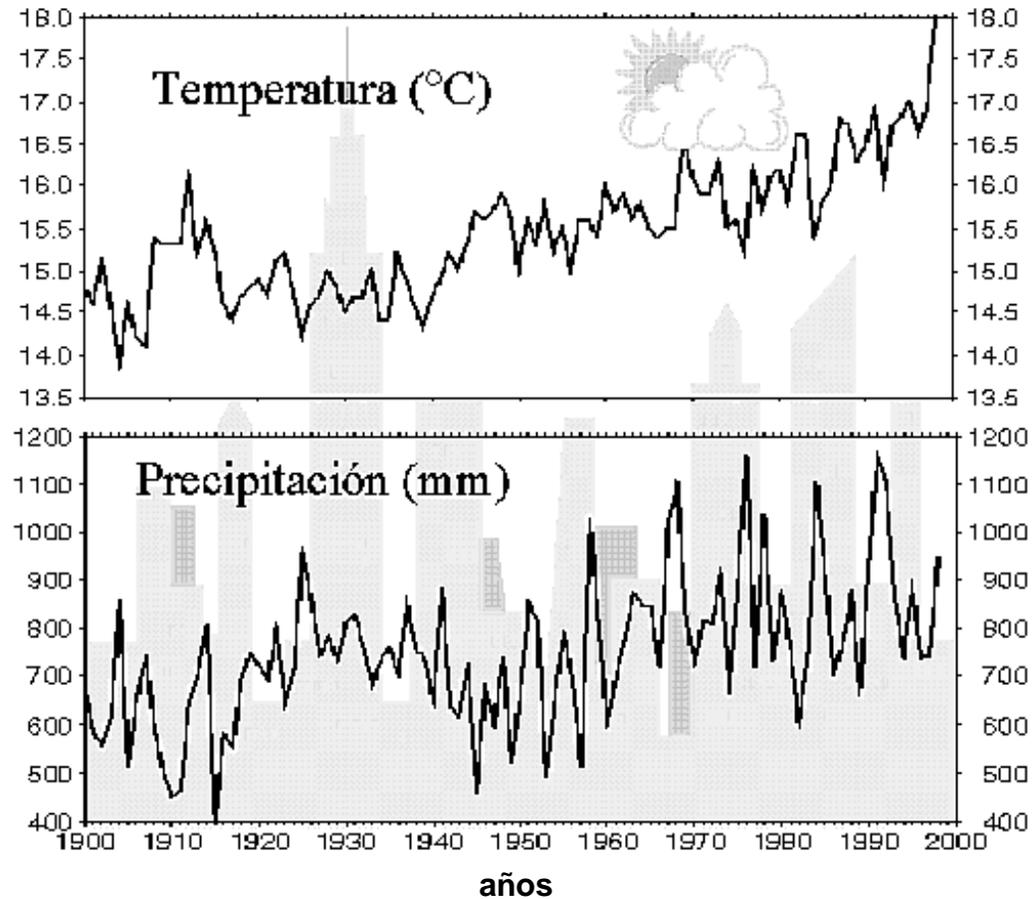


Fig. 1.2 Temperatura (°C) y precipitación (mm) media anual en Tacubaya, Ciudad de México (Datos del Servicio Meteorológico Nacional).

Estudios recientes muestran que la deforestación afecta el ciclo hidrológico al modificar la evaporación, la humedad en el suelo y los efectos que los árboles ejercen sobre los vientos (Sud *et. al* 1996). Una sequía es básicamente consecuencia de las variaciones naturales de la circulación atmosférica pero, si a dichas variaciones atmosféricas se añaden los cambios en el uso del suelo, los efectos negativos en el medio ambiente se pueden amplificar, resultando en falta de humedad en los terrenos agrícolas y forestales.

En el complejo conjunto de factores que modulan el clima y los cambios del entorno (muchas veces resultado de la actividad humana), las interacciones entre componentes resultan en eventos hidrometeorológicos extremos cada vez más intensos, que son motivo de preocupación entre la población. Los desastres de origen hidrometeorológico son los que afectan en mayor medida a la población mundial. Cifras recientes de la Cruz Roja Internacional (1995), correspondientes al número de afectados por desastres naturales de cualquier tipo (e.g., sismos, volcanes, huracanes, etc.), muestran que el número de afectados va en aumento, principalmente por el incremento en la población mundial. Lo más interesante, sin embargo, es que condiciones extremas en el clima, como sucede durante el llamado fenómeno El Niño o La Niña, parecen provocar que el número de afectados aumente dramáticamente (Fig. 1.3). Los casos de El Niño de 1982-83, 1986-87, 1991-92 o de la Niña de 1988 sugieren que el número de afectados aumenta ante condiciones extremas en el clima.

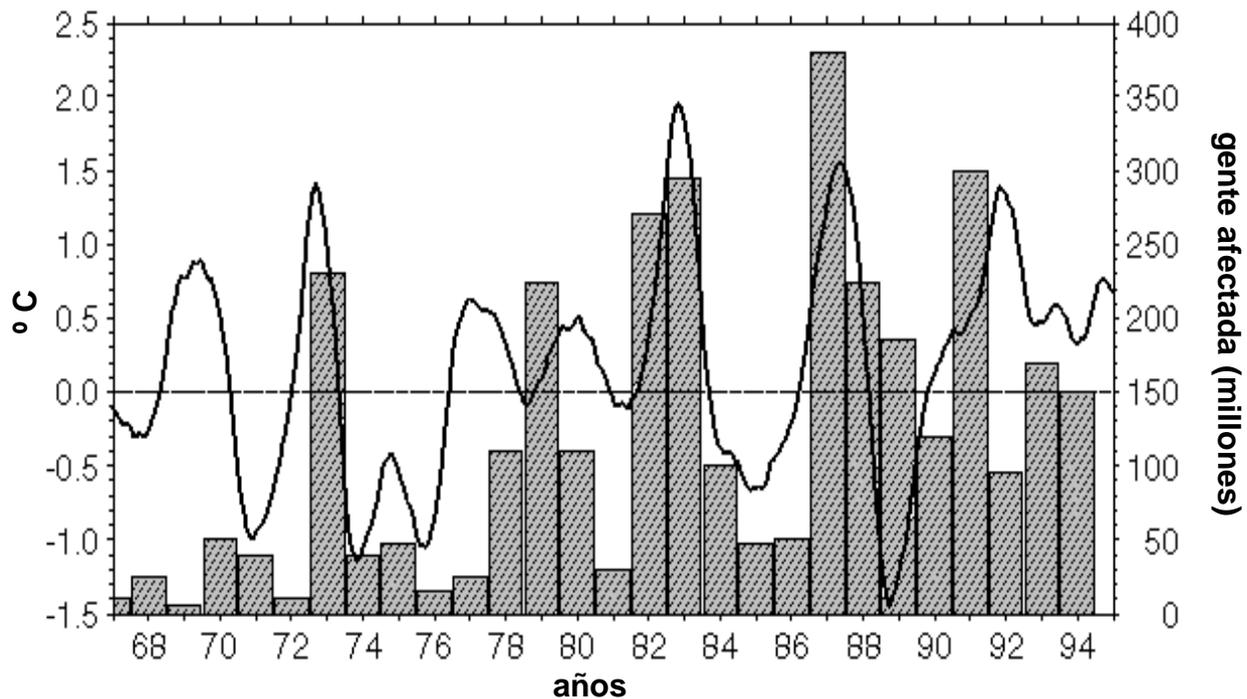


Fig. 1.3. Histograma de gente afectada por desastres naturales (datos de la Cruz Roja Internacional) y anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico del este correspondientes a la señal de El Niño (máximos) o La Niña (mínimos) (línea continua).

La mayoría de los sistemas ecológicos, sociales y económicos son sensibles a las fluctuaciones en el clima, a veces sin importar si éstas son de gran o mediana intensidad, o de corta o larga duración. Aunque nuestro conocimiento sobre los impactos que la variabilidad climática global tiene en México ha aumentado en la

última década, aún es difícil cuantificar los costos, pues los estudios existentes rara vez toman en cuenta las interacciones entre los sistemas sociales, económicos y naturales. Por ejemplo, los impactos de El Niño en agricultura son sólo uno más de los elementos que deben tomarse en cuenta cuando se analiza la eficiencia de la producción agrícola en nuestro país. Algunos piensan que las mayores pérdidas en este sector se deben a decisiones equivocadas en política agraria, en combinación con sequías o inundaciones.

Las prácticas comunes en la agricultura son, en gran medida, resultado del conocimiento ancestral sobre el clima y el campo. Hoy en día se viven anomalías en el clima que parecen ser más intensas que las experimentadas años atrás. Algunos autores sugieren que la ocurrencia de un cambio climático global está provocando la intensificación del ciclo hidrológico (IPCC, 1996). Las variaciones en el clima de nuestro país en las últimas décadas parecen confirmar esta afirmación.

La prolongada sequía de la última década en México parece ser el resultado de cambios climáticos globales. Ante tal situación debemos replantear nuestras estrategias de desarrollo.



Las prolongadas sequías, las ondas de calor y la falta de agua, nos obligan a establecer nuevas estrategias en actividades de producción de alimentos. Tales consideraciones deben extenderse a un mayor número de sectores en la sociedad, que lleven a procesos de adaptación acordes con los cambios que se experimentan en el medio ambiente.

Las variaciones que el clima en México exhibe año con año están en gran medida determinadas por la ocurrencia del fenómeno El Niño (Magaña y Quintanar, 1997). Las sequías a principios de los noventa o las más recientes (1997-98), así como las inundaciones en el sureste de México, han despertado gran interés por comprender los factores que modulan nuestro clima (e.g. Magaña et al. 1999). Es por ello que el estudio de la influencia de El Niño en las lluvias, la temperatura y en la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos se ha desarrollado rápidamente con el fin de entender los cambios que están ocurriendo en nuestro medio ambiente. Ante este panorama, varios científicos hemos decidido conjuntar el conocimiento que se tiene sobre El Niño y sus impactos en México, de tal manera que los diversos sectores afectados por fenómenos climáticos conozcan con mayor detalle lo que encierra este fenómeno.

Existen muchas interrogantes sobre el tema El Niño y falta mucho por entender, pero nos encontramos en un momento en que el conocimiento adquirido ya resulta de utilidad para diversos tomadores de decisiones que demandan infor-

mación climática. Como se ha puesto de manifiesto recientemente, el hacer pronósticos a largo plazo es útil para la agricultura y representa un gran avance en las ciencias atmosféricas.

El Niño

Durante mucho tiempo, uno de los grandes retos científicos ha sido el entender las variaciones climáticas que se producen año con año para poder predecirlas. En las últimas tres décadas, se ha encontrado que gran parte de dichas fluctuaciones está altamente relacionada con el fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (Díaz y Markgraf, 1992). Durante el resto del trabajo nos referiremos a este fenómeno como **El Niño**.

Varias han sido las denominaciones usadas para describir el calentamiento que experimentan los mares del Pacífico tropical del este. El término El Niño, el más aceptado, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre, asociado a El Niño Jesús. El calentamiento en las aguas de la costa del Pacífico sudamericano pronto fue relacionado con el calentamiento anómalo del Pacífico central y del este, a lo largo del ecuador (Fig. 1.4), extendiéndose desde la línea internacional del tiempo (180 °W) hasta la costa sudamericana, resultando en graves alteraciones en el clima global y los ecosistemas.

¿Qué son El Niño y La Niña?

El Niño y La Niña son condiciones anómalas en la temperatura del océano en el Pacífico tropical del este. Bajo la definición más aceptada, El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5°C o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como "Niño 3" (4°N-4°S, 150°W-90°W). De acuerdo a esta definición de Trenberth (1997), en los últimos cincuenta años han ocurrido doce acontecimientos El Niño. De 1982 a principios de 1999, ocurrieron cuatro Niños en los inviernos 1982-83, 1986-87, 1991-92 (que algunos definen de 1991 a 1995) y 1997-98, siendo el primero y el último, de los anteriormente referidos, los más intensos del siglo XX. En el invierno de 1997-1998 las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el extremo oriental del océano Pacífico ecuatorial llegaron a ser de casi 6 °C (WMO, junio 1998).

En los 80s y 90s han ocurrido cuatro eventos Niño en los años 1982-83, 1986-87, 1991-92 y 1997-98. Este último se considera el más intenso del siglo XX.



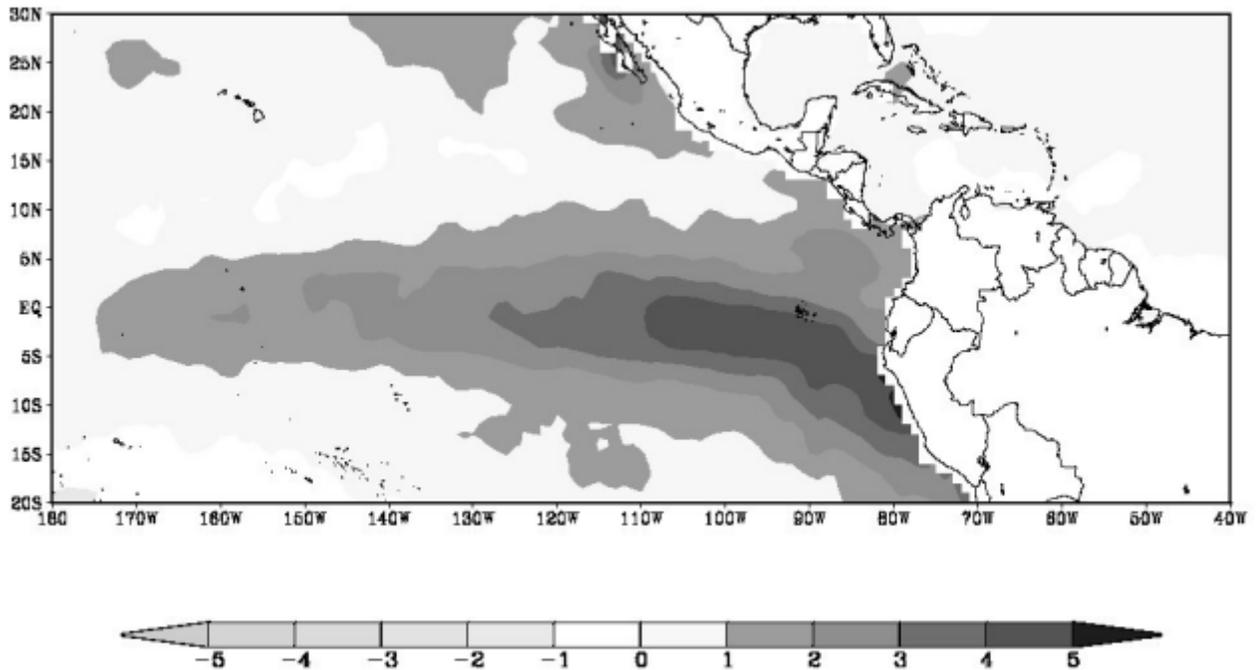


Fig. 1.4. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (°C) en agosto de 1997.

En contraste con la gran actividad reciente de El Niño, durante el período 1980-1998 sólo se produjeron tres episodios La Niña, los más recientes en los años de 1988-89, 1995-96 y en 1998-99.

Se debe decir que la ocurrencia de El Niño o La Niña no es periódica, en otras palabras, no ocurre un evento de este tipo cada cierto número de años. Por otro lado, a un evento El Niño no sigue necesariamente uno La Niña o viceversa. Por ejemplo, se considera que de 1991 a 1995 se vivió el más largo periodo El Niño. La intensidad de El Niño o La Niña varía de un evento a otro, pudiendo ser clasificados como fuertes, moderados, débiles, o muy débiles, dependiendo de la amplitud de la anomalía en la temperatura superficial del mar (Quinn y Neal 1992). Aun más, se ha encontrado que la actividad Niño o Niña varía en escalas mucho mayores de tiempo, aproximadamente en forma interdecadal (Trenberth 1997), siendo en los ochentas y noventas más intensa que antes (Fig.1.5).

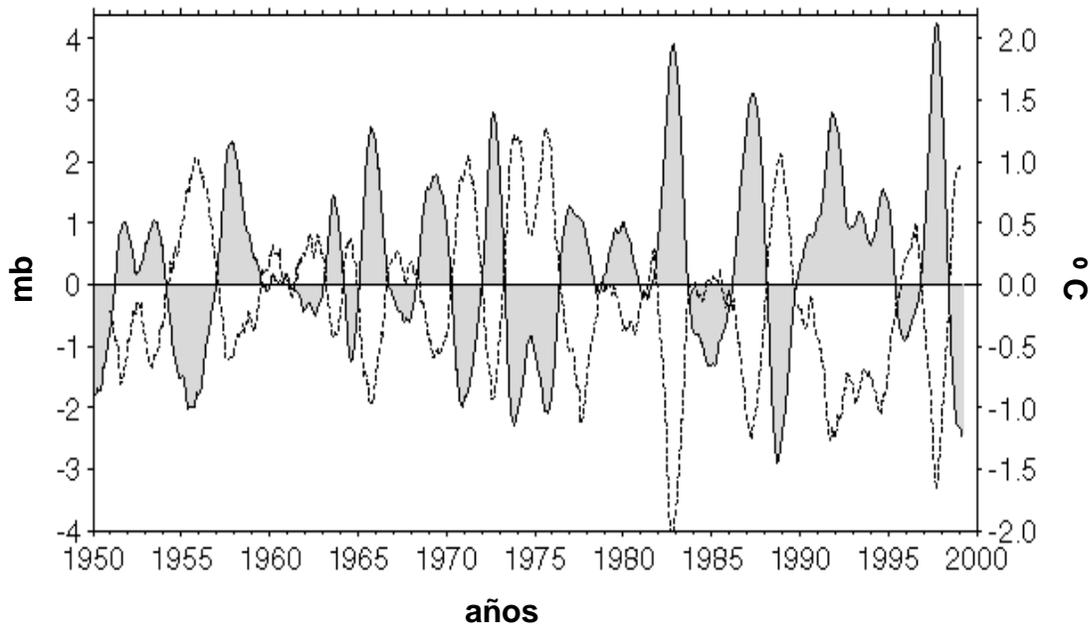


Fig. 1.5 Series de tiempo suavizadas del Índice de la Oscilación del Sur (línea punteada) y de las anomalías de la temperatura de superficie del mar en la región Niño 3.4 (línea sólida).

La dinámica de El Niño involucra procesos por medio de los cuales el océano Pacífico tropical se ajusta activamente al debilitamiento de los vientos alisios. Pero, ¿qué causa ese cambio de intensidad en los vientos de un año a otro? Aun no existe una respuesta definitiva.

Para entender la complejidad inherente a los cambios en el clima, hay que recordar que los primeros intentos por entender tales cambios se dieron durante el siglo pasado, cuando el científico inglés Gilbert Walker (1868-1958) trabajó en el estudio del fenómeno conocido como el Monzón de la India (Fein y Stephens 1987). Sus observaciones mostraron que en años cuando la presión en superficie de Australia era en promedio más baja de lo normal, en el océano Pacífico central (Tahití) era más alta. Esta especie de «sube y baja» en la presión, con periodos de dos a cuatro años, se denominó Oscilación del Sur. La diferencia entre la presión de ambos puntos se conoce como Índice de la Oscilación del Sur (Fig. 1.5).

No fue sino hasta los años sesentas cuando el meteorólogo Jacob Bjerknes (1969) estableció que la Oscilación del Sur y la corriente El Niño son parte de un mismo fenómeno climático que involucra interacciones entre la atmósfera y el océano Pacífico tropical. Posteriormente, se encontró que las señales de la ocurrencia del fenómeno El Niño no se limitan a las regiones tropicales del océano Pacífico, sino que afectan lugares tan distantes como Norteamérica o Sudáfrica (Ropelewsky y Halpert, 1989).

A partir de investigaciones recientes, se sabe que en condiciones normales el océano Pacífico tropical es recorrido por vientos dominantes que vienen del este, denominados alisios. Tales vientos tienden a acumular el agua tropical más caliente en el lado oeste del océano Pacífico es decir, en la región de Indonesia (Fig. 1.6a). Por ser la temperatura de superficie del mar elevada ($>28^{\circ}\text{C}$) en esta región, el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la que se presenta gran convergencia de humedad, formación de nubes y lluvias intensas (Webster 1994).

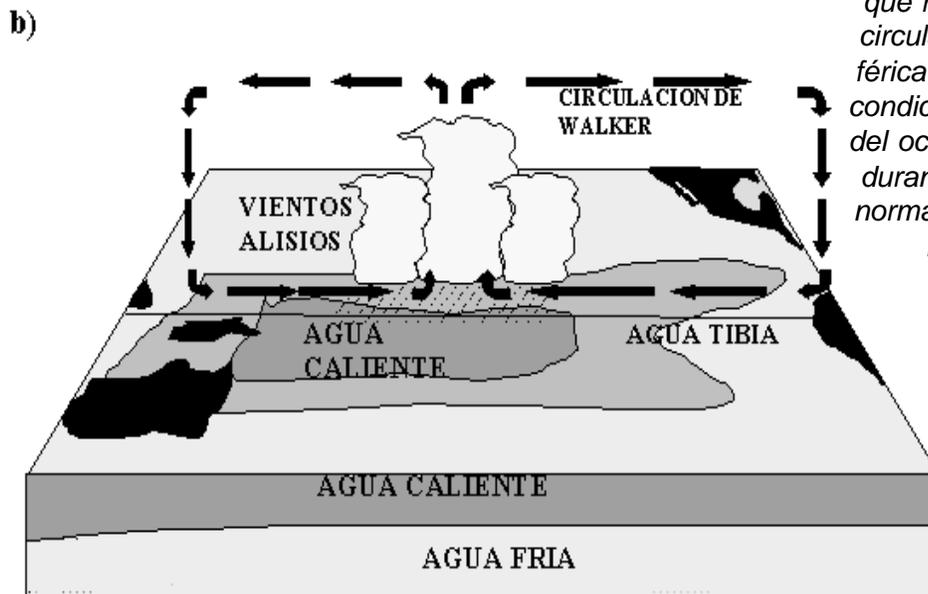
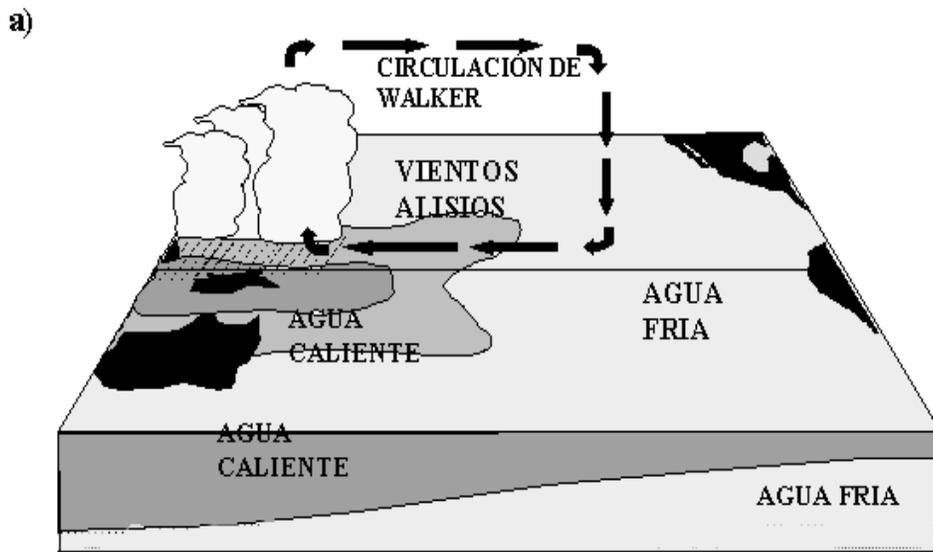
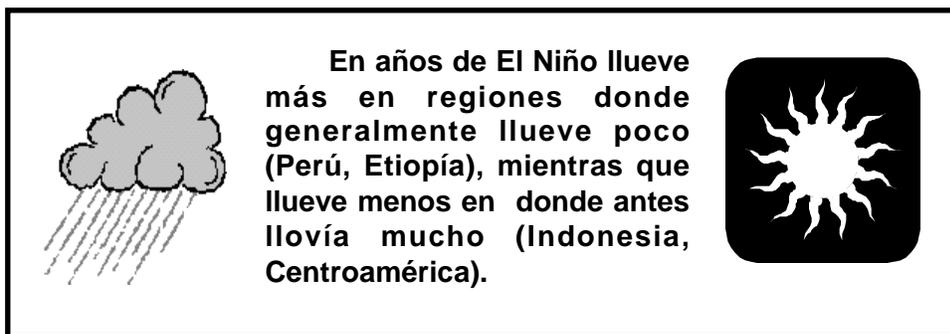


Fig. 1.6 Diagrama que representa la circulación atmosférica tropical y las condiciones medias del océano Pacífico durante a) un año normal y b) un año El Niño.

El Pacífico tropical del este es en general más frío ($< 27^{\circ}\text{C}$) que el del oeste. Ahí se mezclan masas de agua caliente y fría, y ocurren surgencias que traen a la superficie nutrientes del fondo del océano, razón por la cual algunas de las pesquerías más ricas se encuentran frente a las costas de Perú. Sin embargo, la presencia de estas aguas relativamente frías, condiciona la formación de nubes bajas, llamadas estratus, frente a las costas de Ecuador a Chile, que producen pocas lluvias.

Durante años El Niño, los vientos alisios en el Pacífico se debilitan y las aguas más calientes del Pacífico tropical se esparcen a lo largo del Ecuador (Fig.1.6b), por efecto de una onda oceánica ecuatorial del tipo Kelvin. Aunque no parece un gran aumento en la temperatura del mar ($\sim 2^{\circ}\text{C}$), la cantidad de energía (calor) involucrada sí lo es, al punto de poder alterar los patrones de convección profunda, la formación de nubes cúmulus de gran altura y con ello el calor que se transporta a la atmósfera. El desplazamiento de esta fuente de calor atmosférica (las nubes cúmulus) produce cambios en el clima global (WMO,1999).

Con la aparición de una zona de agua caliente en el Pacífico central y del este se producen precipitaciones intensas sobre esta parte de los trópicos. Tal corrimiento en los patrones de lluvia no se debe a mayor evaporación *in situ*, sino a la mayor convergencia de humedad. Con tales cambios, donde antes llovía poco (por ejemplo, en Perú y Ecuador), ahora se producen lluvias intensas e incluso inundaciones; mientras que donde antes llovía mucho, llueve menos e incluso, se producen sequías, como en el Pacífico del oeste (Indonesia o norte de Australia). Por ello, El Niño provoca en la región del océano Pacífico tropical oriental lluvias torrenciales y concentradas, que ponen en grave riesgo la seguridad de la población, dañan las tierras de cultivo, perjudican asentamientos humanos e industriales, destruyen obras civiles afectando de manera negativa a varios sectores de la economía regional.



El Niño puede alterar el clima de regiones distantes a las costas del Pacífico oriental. Por ejemplo, su influencia se siente en el noreste del Brasil, donde se producen sequías intensas, con impactos negativos en agricultura. También en Australia, la agricultura y la ganadería resultan afectadas por la sequía.

Al parecer, La Niña provoca, al menos en los trópicos, eventos climáticos contrarios a los experimentados durante El Niño. Por ejemplo en Australia o Indonesia, en vez de las sequías que se producen durante El Niño, llueve más de lo normal. Sin embargo, aún no es claro que los efectos en el clima de otras latitudes sean «simétricos» entre periodos de Niño y Niña. Aún más, aunque se sabe que el clima durante años de Niño tiende a ser anómalo en ciertas direcciones (más o menos lluvias, calor o frío), hay grandes variantes en las respuestas climáticas de un año El Niño a otro, especialmente a nivel regional, por lo que se habla de la no-linearidad del sistema océano-atmósfera (Kumar y Hoerling, 1997). Tal condición genera en ocasiones algunas fallas en los modelos de regresión lineal, por lo que frecuentemente se debe recurrir a modelos dinámicos para complementar los esquemas de pronóstico.



El Niño es un fenómeno natural del sistema climático y no una amenaza apocalíptica. Desde siempre ha existido aunque al parecer cambia su frecuencia e intensidad entre décadas.

Pero aun cuando es a través de situaciones climáticas extremas que la sociedad reconoce la presencia e influencia de El Niño en la vida diaria, los procesos por medio de los cuales un fenómeno ambiental de este tipo repercute en la sociedad, son en ocasiones tan complejos como la dinámica misma del fenómeno. De ahí que el manejo alarmista que algunos medios de comunicación dan al tema resulta totalmente inadecuado. No todos los males del mundo son producto de El Niño, como algunos dicen, pero tampoco somos ajenos a su influencia. Por lo tanto, no se debe pensar que el fenómeno de El Niño es una amenaza apocalíptica que va a terminar con la humanidad. En realidad tal tipo de variabilidad climática ha existido siempre, y tanto los seres humanos como los ecosistemas se han adaptado a ella. Quizá hoy, fenómenos como El Niño causan más preocupación por afectar a más personas ya que el desmedido aumento de la población ha obligado a establecer asentamientos en zonas vulnerables a estos eventos naturales. Así, la posibilidad de que un huracán cause daños a la población es mayor al existir más gente viviendo en laderas de cerros o en lechos aparentemente secos de ríos (Magaña, et. al., 1998). El huracán Paulina en 1997 fue un claro ejemplo de este problema.

La vulnerabilidad ante El Niño

El fenómeno El Niño, que empezó en la primavera de 1997, constituye un caso más de cómo las variaciones en el clima pueden afectar a la población mundial (Fig. 1.7). El aumento de la temperatura en Mongolia, alcanzando 42°C, la precipitación en Kenia por encima de lo normal, las inundaciones de Europa central, la fuerte temporada monzónica en Madagascar, así como las sequías en Indonesia y regiones cercanas, parecen haber tenido un origen común: El fuerte Niño de 1997-98. En algunos aspectos, éste superó la devastación de su predecesor de 1982-83, cuando se estima que los impactos de El Niño provocaron directa o indirectamente la muerte de 2 mil personas en todo el mundo y daños por aproximadamente 13 mil millones de dólares (Suplee 1999).

Se estima que por causa de El Niño de 1982-83 murieron 2 mil personas en todo el mundo y las pérdidas materiales ascendieron a casi 13 mil millones de dólares.



En nuestro país el fenómeno El Niño tiene serias repercusiones. De manera general podemos decir que las lluvias de invierno se intensifican y las de verano se debilitan. En la zona centro y norte del país se incrementan los frentes fríos en invierno, en tanto que en verano aparece la sequía y disminuyen el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña, et. al.1998). Pero son muchas más las formas en que El Niño afecta a México y que se describen en el presente trabajo.

Hoy sabemos más sobre cómo se manifiesta El Niño en el mundo, pero falta mucho para poder cuantificar el costo de este fenómeno en cada país. Los estudios existentes son limitados, y en la mayor parte de los casos no toman en cuenta las interacciones entre medio ambiente y sociedad. Por ejemplo, en México El Niño de 1997 provocó importantes cambios en la distribución y abundancia de las lluvias, y de acuerdo a economistas, esto ocasionó pérdidas de más de 2 mil millones de toneladas de granos básicos, además de daños materiales por cerca de 8 mil millones de pesos. La severidad de la sequía fue tal, que cerca de 2 millones de hectáreas sembradas con diversos granos básicos se vieron afectadas. En combinación con los daños causados por el huracán Paulina, los perjuicios a la agricultura mexicana provocaron que las importaciones de maíz y sorgo alcanzaran 4,716 millones de toneladas. A esto se debe añadir el gran número de gente afectada por la sequía que tuvo que emigrar de sus tierras.

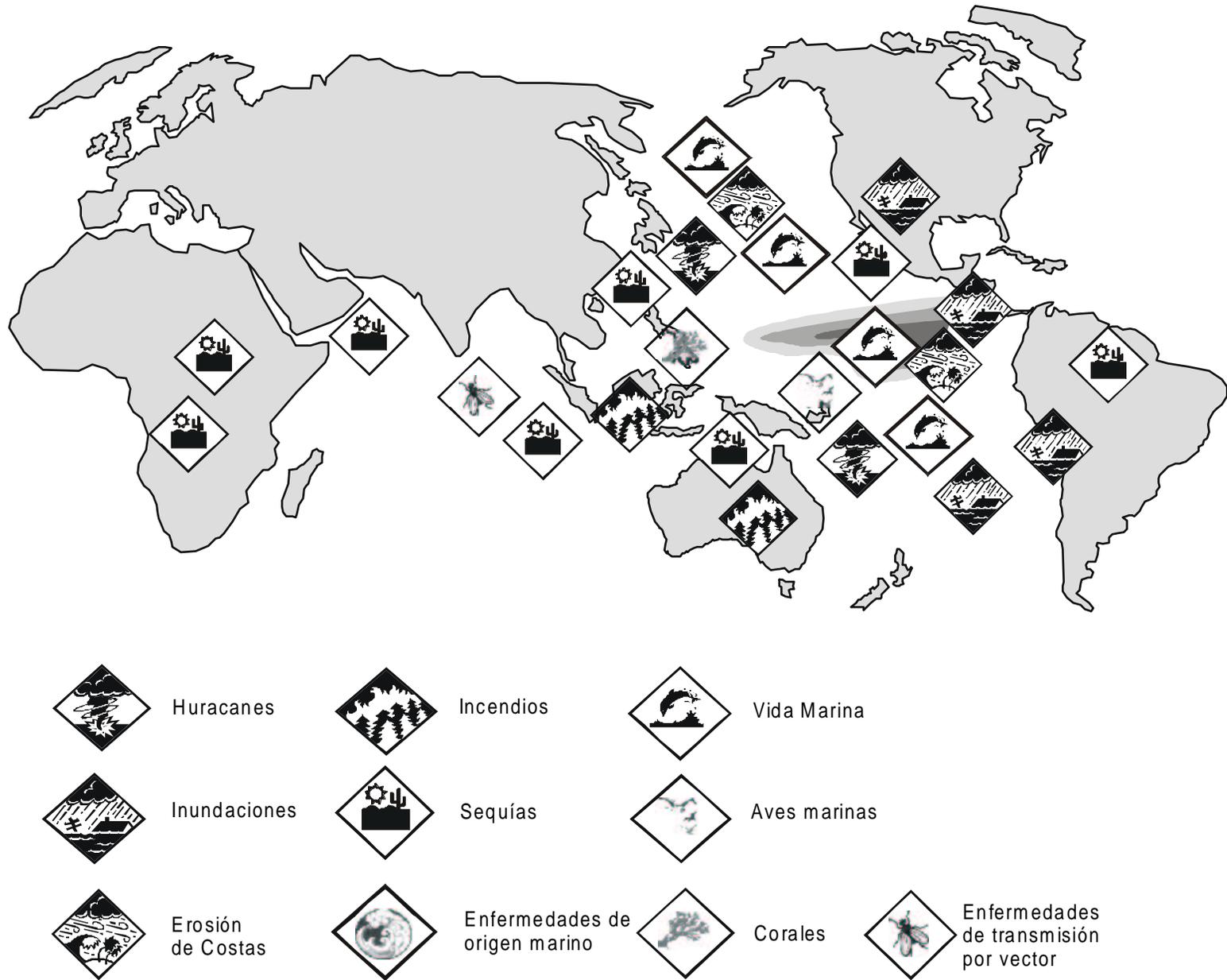


Fig. 1.7. Mapa de la distribución de algunos impactos de El Niño en el mundo.

Ante la evidente vulnerabilidad de nuestro país, tanto en su parte económica como social, resulta cada vez más urgente desarrollar sistemas de planeación que eviten o disminuyan los impactos negativos por condiciones extremas en el clima, como las sufridas en el año 1997.

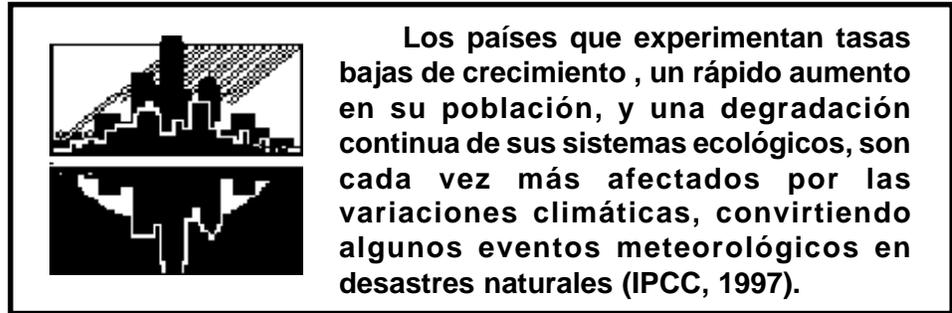
El Niño de 1997 provocó cambios en la distribución y abundancia de las lluvias, ocasionando la pérdida de 2 mil millones de toneladas de granos básicos que tuvieron que ser importadas a un alto costo.



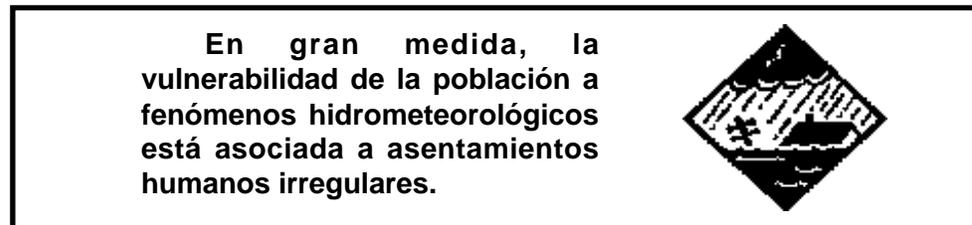
Algunas naciones avanzadas en los estudios de los impactos regionales de El Niño, establecen planes de acción ante el pronóstico de este evento. Por ejemplo, en Australia se cambia el tipo de semillas empleadas para hacer los cultivos más resistentes a condiciones de sequía. En los Estados Unidos el fenómeno de El Niño afecta las cotizaciones de granos o harina de pescado en la bolsa de Nueva York, incluso las compañías aseguradoras invierten en pronósticos climáticos para establecer las primas de los seguros.

En la actualidad, la variabilidad del clima tiene un importante lugar en el contexto del desarrollo económico, por lo que es cada vez más necesario hacer uso de pronósticos del clima. La posibilidad de estimar las anomalías en lluvias o temperaturas abre espacios adicionales de planeación ambiental, económica y social. Ante un fenómeno como El Niño, los riesgos que se tienen son calculados para ampliar el margen de acción en el diseño de programas de adaptación. En México ya se dan los primeros pasos en esta dirección. La Secretaría de Gobernación publicó en noviembre de 1997, una lista de acciones a tomar ante la presencia de El Niño y sus posibles efectos en el noroeste de México. Los pronósticos de lluvias de verano se distribuyeron entre agricultores de Tlaxcala.

La dependencia humana del medio ambiente y los estragos que los cambios del clima ocasionan en nuestros sistemas de producción y generación de bienestar son evidentes. «*Los países que experimentan tasas de crecimiento bajas, un rápido aumento en su población y una degradación continua de sus sistemas ecológicos son cada vez más afectados por las variaciones climáticas, convirtiendo algunos eventos meteorológicos en desastres naturales*» (IPCC, 1997). En este contexto es que se puede definir la vulnerabilidad de países y regiones, o de los sistemas sociales.



En México son considerables las pérdidas socioeconómicas que se ligan a las variaciones climáticas estacionales e interanuales, particularmente aquellas asociadas con el fenómeno El Niño. La mayor parte de la producción de alimentos se da en regiones frágiles, altamente sensibles a malas políticas de uso del suelo, disminución en la disponibilidad del agua o inundaciones, que agravan los problemas socioeconómicos de la población. Para reducir los daños que se originan por fenómenos hidrometeorológicos intensos, es necesario que se cuente con mejor infraestructura para el adecuado drenaje de los escurrimientos y protecciones contra el desbordamiento de los cauces. También es necesario que la población tome conciencia de los peligros a que está expuesta y de las medidas que puede tomar para reducir su vulnerabilidad.



Por lo anterior, hoy se analizan y proponen mecanismos de respuesta regional ante eventos meteorológicos extremos, con el objeto de asegurar la estabilidad, intentando disminuir su vulnerabilidad. La comprensión de las condiciones de vulnerabilidad en un contexto medio ambiente-sociedad en una ciudad representa la clave de posibles soluciones.

Garza, M. y Rodríguez, D. (1998) establecen que «...por extraordinarios que sean los fenómenos naturales, no son en sí mismos un desastre. Un terremoto en una zona despoblada no genera ningún efecto social. Más bien, el desastre es el resultado de la conjunción de determinados fenómenos y la capacidad de los soportes físicos construidos por la sociedad para amortiguar sus efectos».

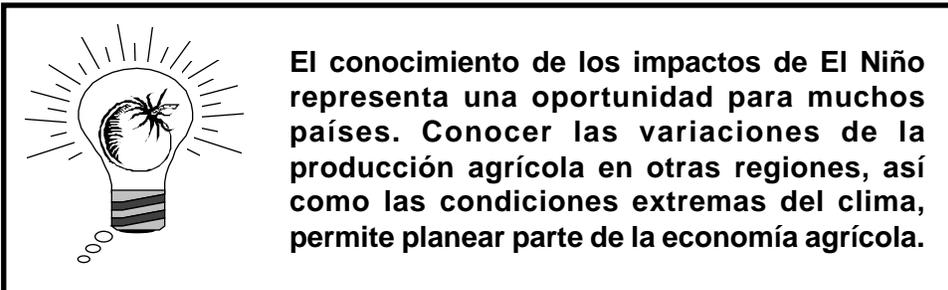
En este sentido, los medios de comunicación juegan un papel trascendente al ser responsables de difundir información suficiente o adecuada de los problemas de fondo ante un evento climático extremo, permitiendo que la sociedad conozca las dimensiones y efectos reales del fenómeno, así como los mecanismos de respuesta.

La vulnerabilidad de un país ante eventos muy fuertes de El Niño, está en relación inversa con:

- i) la difusión y comprensión de eventos climáticos extremos,
- ii) la capacidad técnica para aplicar medidas preventivas, y
- iii) la disponibilidad de recursos financieros para aplicar estas medidas.

El Niño 1997-98 fue uno de los eventos climáticos más estudiados en su origen y evolución, siendo quizá el más intenso del que se tiene registro. Muchos países tomaron acciones preventivas ante los posibles impactos negativos, pero también para aprovechar los efectos positivos. Los usos potenciales de la información anticipada fueron casi ilimitados. Por ejemplo, los productores de café en Kenia enfrentaron una mayor demanda de este producto cuando la sequía afectó a las cosechas de Brasil e Indonesia. La disminución en la producción de aceite de palma en Filipinas durante El Niño, se convirtió en oportunidad para otros productores. Por ello, los países que se anticipan a estos acontecimientos pueden llenar los vacíos del mercado y prosperar.

En Perú, la construcción de refugios y la acumulación de suministros para casos de emergencia salvaron cientos de vidas durante 1997 y 1998. Gracias a las advertencias, la ayuda internacional llegó a tiempo a lugares como Papua Nueva Guinea, donde la amenaza de hambruna se cernía sobre las poblaciones de tierras altas, afectadas por las heladas y sequías que se combinaron para destruir las cosechas de subsistencia. Muchas áreas afectadas pudieron prepararse para las inundaciones o incendios, la migración de la población o la propagación de enfermedades (Suplee, 1999).

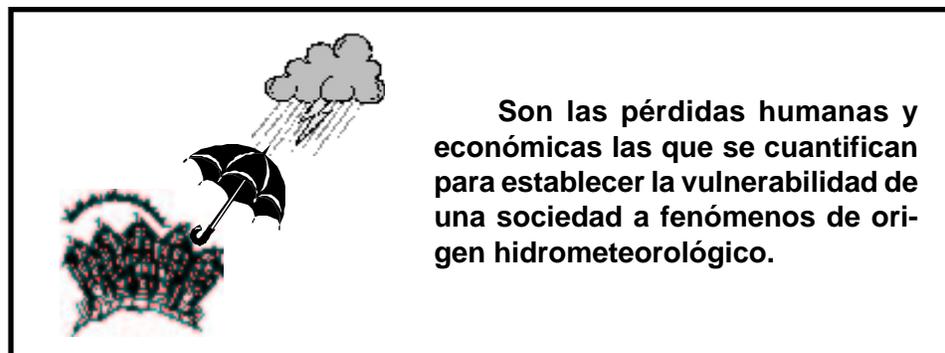


El conocimiento de los impactos de El Niño representa una oportunidad para muchos países. Conocer las variaciones de la producción agrícola en otras regiones, así como las condiciones extremas del clima, permite planear parte de la economía agrícola.

En la búsqueda de soluciones en México, la Secretaría de Gobernación ha diseñado el Atlas Nacional de Riesgos, donde se describe a los fenómenos hidrometeorológicos como los que mayor daño han causado a nuestro país (Delgadillo, 1996). Sin embargo, poco énfasis se ha puesto en el papel de El Niño como un riesgo, despreciando sus relaciones con eventos como la frecuencia de ciclones tropicales, inundaciones, sequías, tormentas de granizo o nevadas. Por esta razón, se ha decidido presentar un análisis de los impactos que este fenómeno tiene en México, no para que El Niño sea contemplado como un riesgo adicional, sino para ser entendido en su real magnitud y para diseñar estrategias de adaptación ante su ocurrencia.

Las ventajas del pronóstico

Los ciclones tropicales o tormentas intensas cobran importancia en la sociedad y en la economía cuando entran a tierra, ya que la combinación de fuertes vientos y lluvias torrenciales tiene efectos devastadores. En general, son las pérdidas humanas y económicas las que se cuantifican para establecer la vulnerabilidad de una sociedad ante fenómenos de origen hidrometeorológico. A partir de datos estadísticos y modelos físicos, los científicos y planeadores han podido reconocer las relaciones entre variables meteorológicas y la forma de los impactos, lo que permite determinar estrategias de adaptación. El uso de modelos de predicción climática ha permitido promover acciones de mitigación, que resultan en servicios de emergencia preparados tanto para la prevención de los impactos, como para la atención de los afectados por el siniestro, porque sólo al conocer los tiempos e intensidad de los fenómenos, se puede preparar a la población (WMO,1998). El impacto de los huracanes en Estados Unidos, México o Centroamérica, es una muestra de las características y los grados de vulnerabilidad de la población ante fenómenos hidrometeorológicos extremos. En cada una de estas regiones, los efectos negativos ante huracanes (e.g. muertos) varían en un orden de magnitud.



Son las pérdidas humanas y económicas las que se cuantifican para establecer la vulnerabilidad de una sociedad a fenómenos de origen hidrometeorológico.

Todo pronóstico tiene cierto grado de incertidumbre. En principio, sólo es posible pronosticar de forma determinista las condiciones de la atmósfera a menos de quince días. En las predicciones a corto plazo (uno o dos días) se desea conocer en qué regiones del país lloverá o hará frío, dando valores precisos a cada una de las variables en el espacio y el tiempo. En las de largo plazo, se trata de determinar cuál es la probabilidad de que las condiciones climáticas medias en una región del planeta se vean alteradas en un cierto porcentaje. Es así que en predicciones del clima se habla de anomalías en lluvias o temperatura, o sea, de valores por encima o debajo de la media (Magaña, et. al., 1998).

Hasta hace un tiempo, la mayor parte de los trabajos en el campo de la predicción climática se basaban en estadísticas climáticas de los últimos treinta años o más. Recientemente, los métodos de predicción incluyen el uso de modelos numéricos que dan un sentido más físico a la estadística, explicando los eventos de Niño como resultado de procesos de interacción entre los componentes del sistema climático. La combinación de técnicas estadísticas y dinámicas, así como el avance en el estudio de sistemas dinámicos, amplía la gama de posibilidades para realizar pronóstico. El aumento en la cantidad y calidad de las observaciones permite ahora contar con mejores diagnósticos y pronósticos del clima.

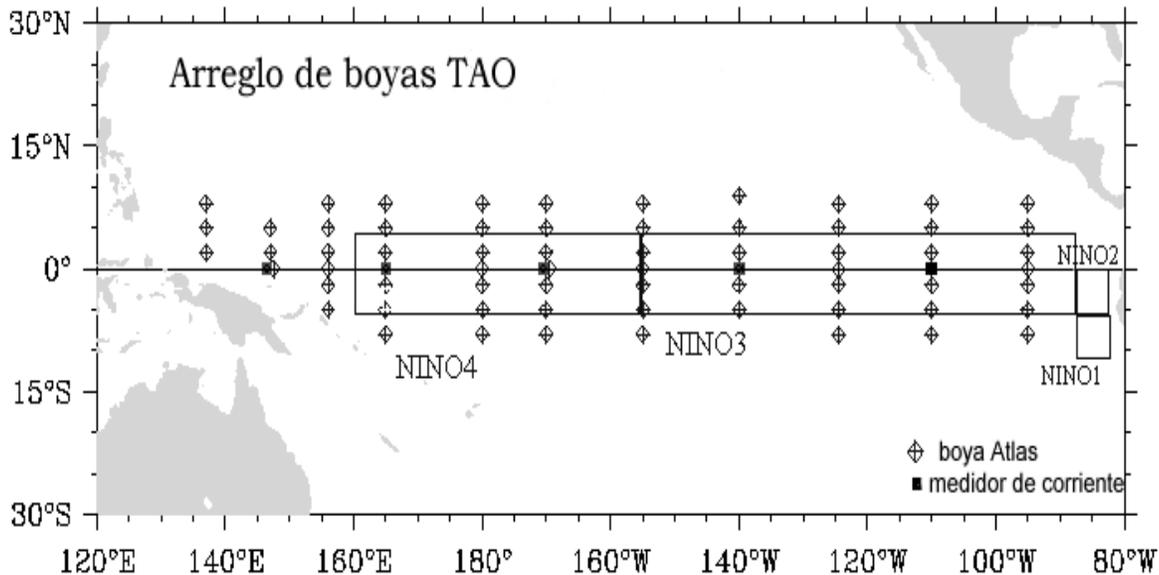


Fig. 1.8.- Arreglo de boyas para la atmósfera y el océano tropical en el Pacífico, así como regiones Niño (tomado de NOAA).

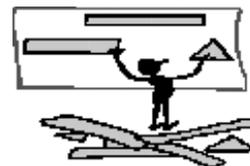
El estudio físico de las anomalías climáticas, ha llevado a implementar campañas de observación mediante las cuales los datos medidos y los modelos matemáticos son comparados. Hoy se cuenta con redes de observación como la del sistema Océano-Atmósfera Tropical (TAO, por sus siglas en inglés), integrado por 70 boyas ancladas y distribuidas en el Pacífico ecuatorial (Fig.1.8), que constituye el principal sistema de advertencia en el mundo, en cuanto se refiere a los cambios climáticos en el océano tropical. Estas boyas han aportado en años recientes información completa en tiempo y espacio sobre las anomalías de vientos, temperatura superficial del mar y cambios de la termoclina que caracterizan a El Niño. Para el caso específico de El Niño de 1997, el banco de datos comprendido en el periodo de diciembre de 1996 a diciembre de 1997, facilitó la descripción y pronóstico de la propagación de las ondas oceánicas hasta una profundidad de 500 m (CLIVAR, 1999).

Por otra parte, el uso de los satélites continúa siendo un recurso de gran valía en el monitoreo de sistemas convectivos intensos (como huracanes, ciclones de latitudes medias, etc.). En épocas recientes, la capacidad de observar nuestro planeta se ha visto sustancialmente aumentada al entrar en funcionamiento satélites que detectan cambios en la temperatura superficial del mar, vegetación continental y producción primaria en los océanos. Por ejemplo, el satélite *TOPEX/Poseidon*, de una misión franco-estadounidense, que fue puesto en órbita en 1992 a una altitud de 1,336 km, mide el aumento del nivel de la superficie del mar y transmite información acerca de la circulación oceánica, incluyendo las enormes ondas Kelvin y Rossby que van y vienen por todo el Pacífico resultando entre otras cosas, en El Niño.

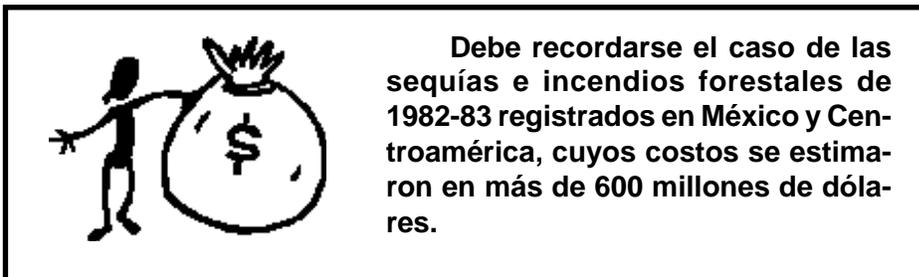
Con los datos las boyas de la red TAO, del satélite TOPEX/Poseidón y una variedad de modelos dinámicos, los científicos cuentan ahora con información que les permite desarrollar y validar teorías sobre lo que ocurre, tanto durante condiciones climáticas normales, como durante los cambios marítimos que anuncian las llegadas de El Niño y de La Niña.

Los desarrollos recientes en materia de pronóstico de El Niño abren la posibilidad de estimar algunas anomalías en el clima a nivel regional y con ello, un espacio de planeación en materia ambiental, e incluso económica y social. La implementación de políticas que toman en cuenta el factor clima, ya son una realidad en los países más afectados por El Niño.

La implementación de políticas que toman en cuenta pronósticos del clima, ya son una realidad en los países más afectados por El Niño



La capacidad de adaptación de un país ante condiciones adversas en el clima depende de los avances tecnológicos, los arreglos institucionales, la disponibilidad de información y recursos financieros con que cuente. Por ejemplo, en los Estados Unidos el fenómeno El Niño se enfrenta con una visión amplia que incluye reconocer los impactos negativos y positivos, tanto económicos como sociales. Es con esta visión que se instrumentan programas de acción que integran a toda la población. Los científicos realizan estudios permanentes, que son utilizados por los responsables de protección civil para preparar actividades de información y auxilios en casos de desastres (CLIVAR,1999).



Dado que el factor económico y de infraestructura determina en gran medida la capacidad de adaptación, los países en desarrollo son generalmente los más vulnerables. Por ello, en estos países es más importante desarrollar planes de adaptación, ya que los costos de remediar los daños por condiciones meteorológicas y climáticas extremas son por lo general varios órdenes de magnitud mayores a los de acciones de prevención. Baste recordar el caso de las sequías e incendios forestales de 1982-83 registrados en México y Centroamérica, cuyos costos se estimaron en más de 600 millones de dólares. Lo más importante es aplicar el principio de precautoriedad, aumentando las medidas de protección.

No es necesario esperar a conocer perfectamente todos los detalles de algún proceso climático para realizar pronósticos y hacer uso de ellos. Sin embargo, es importante conocer cuáles son las limitaciones de tales pronósticos, para no crear falsas expectativas. Aunque existe una gran necesidad de saber con suficiente anticipación si habrá más huracanes afectando las costas mexicanas, lo más que podemos decir es si esperamos más sistemas de este tipo, pero de ninguna manera se puede pronosticar el embate de otro huracán como Paulina para un cierto día.

Las perspectivas de aprovechar la información climática en el siglo XXI son grandes. México y el resto de la comunidad internacional deben reconocer los avances científicos en materia ambiental para utilizar de manera responsable los recursos con los que cuentan. Ya no es aceptable seguir considerando a los huracanes o a El Niño como feroces enemigos que se empeñan en destruirnos, sino como fenómenos naturales con los que siempre viviremos y a los que hay que adaptarse con estrategias de desarrollo adecuadas.

En este trabajo sobre El Niño, se trata de establecer en qué medida este fenómeno realmente afecta a México. Sólo mediante un análisis científico se puede concluir en qué grado los problemas ambientales de nuestro país son causados por el Niño, para evitar usarlo como «chivo expiatorio» de todos nuestros males.

